

Robert Hildén

# Tasasähkön käyttö tulevaisuuden jakeluverkoissa sekä kiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

16.10.2017

Tekijä Otsikko  Sivumäärä Aika	Robert Hildén Tasasähkön käyttö tulevaisuuden jakeluverkoissa sekä kiinteistöissä  33 sivua 16.10.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	Yliopettaja Jarno Varteva
<p>Insinööriyöni tavoite oli selvittää, olisiko mahdollista ja järkevää siirtyä käyttämään tasasähköä keski- ja pienjänniteverkossa sekä kiinteistöjen sähkönjakelussa. Työ tehtiin etsimällä tietoa tasasähköjakelusta ja tulevaisuuden jakeluverkkojen tarpeista alan kirjallisuudesta sekä internetistä.</p> <p>Aluksi käytiin läpi Suomen sähkönjakeluverkon nykytilanne, tulevaisuuden tasasähkönjakelun mahdollisuudet sekä älykästä että mikroverkkoa. Tämän lisäksi selvitettiin, miten hajautettu sähköntuotanto ja varastointi voitaisiin integroida jakeluverkkoon. Viimeisessä osiossa selvitin, miten voitaisiin käyttää tasasähköä kiinteistöissä. Tutkimuksen lopputuloksena saatiin raportti sähköverkon tulevaisuuden kehittymismahdollisuudesta tasasähkön käytössä.</p> <p>Työni tuloksen mukaan tulevaisuudessa olisi mahdollista ja järkevää siirtyä käyttämään enemmän tasasähköä, jotta saataisiin lisää verkkokapasiteettia, korkeampaa hyötysuhdetta sekä parempaa sähkönlaatua. Kiinteistöissä voidaan myös saada nostettua hyötysuhdetta sähkölaitteissa sekä osan sähköverkkoa turvallisemmaksi.</p>	
Avainsanat	tasasähköverkko, älykäs verkko

Author Title	Robert Hildén The use of Direct Current in future Distribution Grids and Real Estate
Number of Pages Date	33 pages 16 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor	Jarno Varteva, Principal Lecturer
<p>The topic of this Bachelor's thesis is the use of direct current for electrical distribution in medium and low voltage grids, as well as in real estate, instead of alternating current, which is commonly used today. The objective was to find out if it is possible and feasible to change the electrical distribution system, and what it would require.</p> <p>The study was carried out by studying direct current distribution and the future needs of the electrical distribution network from literature of the field and the internet.</p> <p>In the beginning of the thesis the history of alternating and direct current as well as the present situation of Finland's electrical distribution network are presented. The possibilities to use direct current for the medium and low voltage grids are then clarified. Smart and micro grids play a big role in the future electrical distribution network with much more decentralized energy production and storage. At the end of the thesis, how direct current could be used in real estate to get to better overall electrical efficiency is presented.</p> <p>The outcome of this research is a written report on how the change of electrical distribution system will look in the future. The report shows how to get to better efficiency, better quality of electricity and higher operational reliability in the distribution networks, as well as in real estate, by using direct current.</p>	
Keywords	DC grid, Smart grid

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vaihto- ja tasasähkön historia	1
3	Sähköverkon nykytilanne Suomessa	3
3.1	Suomen sähköverkon terminologia	3
4	Tulevaisuuden jakeluverkot ja pienjänniteverkot	5
4.1	Keskijännite DC-jakeluverkko	7
4.2	Pienjännite DC-jakeluverkko	8
4.3	Nykyisten pienjännitekaapeleiden käyttö	10
4.4	Smart grid	12
4.5	Mikroverkot	14
4.6	Energian tuotanto ja varastointi	15
5	Komponentit	21
6	Kiinteistöjen tasasähkö	24
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	32

## Lyhenteet

AC	Alternating current. Vaihtosähkö.
AMCMK	Voimakaapeli.
AMKA	Riippukierrekaapeli
AXCMK	Voimakaapeli.
AXMK	Voimakaapeli.
DC	Direct current. Tasasähkö.
HVAC	High voltage alternating current. Korkea jännitteinen vaihtosähkö.
HVDC	High voltage direct current. Korkea jännitteinen tasasähkö.
IGBT	Insulated gate bipolar transistor. Suuritehoinen bipolaaritransistori.
MMJ	Muovivaippainen muovieristeinen asennuskaapeli.
PWM	Pulse Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio, vaihtosuuntaus tapa.

## 1 Johdanto

Sähkönjakelujärjestelmä on näyttänyt samanlaiselta jo vuosikymmeniä, toki muutoksia on tapahtunut mutta ei mitään suuria ja mullistavia. Muilla tekniikan aloilla on nähty paljon enemmän edistystä kuin sähkönjakelussa, mikä johtuu monesta tekijästä, joista yksi on esimerkiksi verkkokomponenttien pitkä pitoaika. Toimivaa järjestelmää ei ole haluttu lähteä muuttamaan, sillä se vaatisi suuria investointeja. Sähkönjakelujärjestelmältä vaaditaan kuitenkin koko ajan enemmän, sillä kulutus jatkaa kasvamistaan ja sähkön eri tuotanto- sekä varastointimuodot yleistyvät. Perinteisesti sähkönjakelu on tehty käyttämällä vaihtosähköä, mutta tehoelektroniikan yleistymisen ja elektronisien kuormien lisääminen on viime aikoina herättänyt uutta kiinnostusta tasasähkönjakelujärjestelmiä kohtaan, mikä sinänsä ei ole mikään uusi keksintö.

Vuosikymmeniä on jo ollut käytössä HVDC, suurjännitesähkön siirto, joka on erittäin toimiva ja hyvä järjestelmä. Tässä työssä keskityn kuitenkin tasasähkön käyttöön keski- ja pienjännitejakeluverkoissa sekä kiinteistöverkoissa. Työn alussa käyn läpi miltä Suomen jakeluverkko näyttää tänään, mikä rajoittaa verkkoa sekä verkon heikkouksia. Seuraavassa osiossa käsittelen miten, voidaan hyödyntää tasasähköä eri verkoissa sekä miten tasasähkö voisi parantaa sähkönjakelun laatua ja toimintavarmuutta. Tämän lisäksi tulevaisuudessa tullaan näkemään nykyistä paljon enemmän hajautettua sähköntuotantoa, jonka voisi helpommin integroida tasasähköjärjestelmään. Tavoitteena on selvittää, olisiko tulevaisuutta ajatellen järkevää siirtyä tasasähköjärjestelmään, ja jos on niin miten laajasti.

Olen tehnyt tätä opinnäytetyötä omasta kiinnostuksesta aihetta kohtaan Metropolia Ammattikorkeakoululle. Menetelmä, jolla olen tehnyt tutkimusta, on lukea aiheesta kirjallisuutta, sekä verkkodokumentteja internetistä.

## 2 Vaihto- ja tasasähkön historia

Sähkötekniikka otti 1800-luvulla isoja askeleita eteenpäin. Varsinkin 1800-luvun loppupuolella oli tiedemiesten kesken eri näkemyksiä, kumpaa järjestelmää tulisi käyttää sähkötekniikassa, vaihto- vai tasasähköä. Keksijä Thomas Edison oli tasasähkön puolestapuhuja, joka perusti 1880-luvulla ensimmäisen yleisölle sähköä myyvän sähkö-

laitoksen. Laitos sijaitsi Yhdysvalloissa, New Yorkissa ja jakoi sähköä 110 V:n DC-järjestelmällä. Yleiseksi ongelmaksi muodostui kykenemättömyys valmistaa monimutkaisia tasajännitemuuntajia. Kun halutaan siirtää sähköä pitkiä etäisyyksiä, jännitteen pitää olla korkea, jottei tulisi isoja siirtohäviöitä. 110 V:n DC-jännitteellä ei pystyttäisi siirtämään sähköä pitkiä etäisyyksiä. [1; 2.]

Vaihtovirran puolestapuhuja oli taas keksijä George Westinghouse, joka 1880-luvulla ymmärsi, miten jännitettä pystyttäisiin muuntajilla nostamaan ja laskemaan melko helposti, mikä johtaisi siihen, että pystyttäisiin siirtämään sähköä pidempiä etäisyyksiä. [1; 2.]

Nikolai Tesla, joka työskenteli Thomas Edisonille, oli myös vaihtosähkön puolestapuhuja. Edison ja Tesla riitaantuivat, minkä jälkeen Tesla lähti Edisonin yhtiöstä. Nikolai Tesla jatkoi tutkimusta itsenäisesti ja kehitti muun muassa induktiomootorin, joka toimi vaihtosähköllä. Tesla sai moottorinsa toimimaan hyvin ja kuullessaan tästä Westinghouse osti moottorin patentin ja otti Teslan töihin yhtiöönsä. Westinghouse tiesi tarvitseensa toimivaa vaihtosähkämootoria jo markkinoimaansa AC-järjestelmään. [1; 2.]

Vuonna 1886 Westinghouse asensi ensimmäisen AC-järjestelmän, jossa oli enemmän kuin yksi jännitetaso: 1.200 metriä pitkä 500 V:n AC-järjestelmä turvasi sähkönjakelun 23 yritykselle, jotka käyttivät 100 V:n AC-sähköä. Tasasähkön ja vaihtosähkön puolestapuhujien välille oli puhjennut suoranainen sota josta tuli erittäin ruma. Edisonin mielestä korkea AC-jännite oli erittäin vaarallista ja tämän hän todisti surmaamalla elefantin vaihtosähkön voimin. Tämäkään ei auttanut, vaan hän alkoi menettää hallinnan yhtiöstään ja vuonna 1890 hän astui sivuun yhtiöstä. Yhtiön uuden johdon mielestä AC olisi parempi vaihtoehto ja jatkoivat vaihtosähkön kehitystä. Vuonna 1891 Westinghouse onnistui 20 kilometrin sähkönsiirrossa, ja tästä lähtien AC oli vahvempi vaihtoehto sähkönsiirrossa sen helpon jännitetason muuntamisen ansiosta. [1; 2.]

Suomessa oli vielä 1950-luvulle asti vaihtosähköjakelujärjestelmän ohella käytössä tasasähköjakelujärjestelmä. Tasasähkösiirtojärjestelmien edut kuitenkin tulivat takaisin pitkien matkojen suurjännitesähkönsiirrossa sekä kaikenlaisessa elektroniikassa. Suurjännitetasavirtaa (HVDC) käytetään nykyään pitkillä siirtoetäisyyksillä sekä maalla että meressä. Suurjännitetasavirran etuja suurjännitevaihtovirtaan (HVAC) nähden ovat muun

muassa pienemmät häviöt pitkillä siirtoetäisyyksillä, suuremmat siirtokapasiteetit, parempi tehonhallinta sekä kaapelien pienempi määrä. Lyhimmillä matkoilla käytetään HVAC, koska järjestelmän rakennuskustannukset ovat matalammat. [3.]

Viime vuosina on tutkittu myös tasasähkön käyttöä sähköjakelussa taajama- sekä haja-asutusalueilla. Tällä halutaan parantaa sähkön laatua sekä jakelun luotettavuutta paikallisen energiatuotannon ja varastoinnin kautta. Siirtohäviöitä halutaan pienentää, mutta myös siirtokaapeleiden kustannuksissa voitaisiin säästää nykyiseen verrattuna. Tämän lisäksi tekniikka, jota tasasähköverkolle tarvitaan, pääasiassa tehoelektroniikka, on kehittynyt ja tullut halvemmaksi. [12.]

Tässä työssä tutkin, miten verkkoja voitaisiin kehittää tasasähköä käyttäen sekä miten voidaan hyödyntää tasasähköä myös loppukäyttäjän eli asiakkaan kiinteistössä vaihtosähkön sijaan. Kotitalouksissa on nykyään paljon tasasähköä käyttäviä elektronisia laitteita, joita nyt syötetään vaihtosähköllä ja sitten tasasuunnataan. Tasasuuntaajassa syntyy häviöitä, joista päästäisiin eroon ja saadaan kokonaishyötysuhde paremmaksi. Esittelen työssäni myös erilaisia laitteita, joille voitaisiin syöttää tasasähköä jo nyt.

### **3 Sähköverkon nykytilanne Suomessa**

Suomen sähköjakeluverkko koostuu kantaverkosta, suurjännitejakeluverkosta sekä jakeluverkosta. Nämä ovat osa Suomen sähkövoimajärjestelmää, johon kuuluvat myös voimalaitokset sekä sähkön kuluttajat. Sähköjakeluverkon tehtävä on siirtää voimalaitoksissa tuotettu sähkö loppukäyttäjille hyvälaatuisena hyvällä hyötysuhteella sekä toimintavarmuudella. Toimintavarmuus on erittäin tärkeä kuluttajille mutta myös sähköyhtiöille, jotka ovat korvausvelvollisia pitkistä sähkökatkoksista. Tämä motivoi sähköyhtiöitä investoimaan jakeluverkkoihin. Suomen sähköjärjestelmä on kolmivaihevaihtojännitteellä toimiva järjestelmä, jonka taajuus on 50 Hz. [4, s.11–23; 5.]

#### **3.1 Suomen sähköverkon terminologia**

Kantaverkko



Suomessa kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, joka vastaa verkon kehityksestä ja toimivuudesta. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon suuret voimalaitokset, tehtaات sekä alueelliset jakeluverkot on liitetty. Kantaverkko on noin 15.000 km pitkä ja koostuu kolmesta eri vaihtosähköllä toimivasta jännitetasosta. Nämä ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Näin korkeita jännitteitä käytetään minimoimaan siirtohäviöitä pitkillä siirtoetäisyyksillä. Kantaverkko on pääosin rakennettu ilmajohdoista, koska maakaapelin rakentaminen pitkille siirtoetäisyyksille on kallista. Jotta kantaverkon toimintavarmuus olisi korkea, on se rakennettu silmukoista, joilla voidaan syöttää verkkoa kahdesta suunnasta. [4, s.11–23; 5.]

### Jakeluverkko

Jakeluverkot jaetaan suurjänniteverkkoon (110 kV), keskijänniteverkkoon (20 kV, 10 kV) sekä pienjänniteverkkoon (1 kV, 0,4 kV). 110 kV:n johdoilla siirtokapasiteetti on kymmeniä megawatteja sadalle kilometrille. [4, s.11–23; 5.]

Keskijänniteverkkoa syöttää sähköasema, jossa on 110/20 kV:n muuntaja. Keskijänniteverkkoa rakennetaan keskeisiltä osiltaan yleensä silmukoiksi, mutta silmukoita käytetään avoimina. Tämä siksi, että säteittäisessä verkossa häiriöiden rajaaminen on helpompaa, oikosulkuvirrat pienemmät ja jännitteensäätö sekä suojauksen toteuttaminen yksinkertaisempaa kuin suljetuissa silmukoissa. Verkkoa käytetään suljetussa silmukassa yleensä vain vianetsinnässä tai verkon kytkentää muutettaessa. [4, s.11–23; 5.]

Eniten häiriöitä esiintyy keskijänniteverkoissa, sillä suurin osa keskijänniteverkkoa on avojohtoa, noin 90 % 140.000 km:stä. Metsien läpi menevien avojohtojen käytävät ovat usein kapeita ja alttiina myrskyille ja lumen painosta johtoihin painuville oksille. Keskijänniteverkko on myös haavoittuvainen ukkosille. 20 kV:n johdoilla voidaan siirtää vain muutama megawatti noin 20–30 km. Mentäessä asuttamattomille alueille esimerkiksi itärajan lähetyvillä tai Pohjois-Suomessa johtojen pituudet voivat kasvaa erittäin paljon pienen siirtotehon takia. Juuri nyt investoidaan paljon rahaa avojohtoverkkojen korvaamiseen maakaapeliverkolla. Tämä on paikoittain erittäin kallista mutta lisää toimintavarmuutta, sillä se vähentää verkon alttiutta ympäristöolosuhteisiin. [4, s.11–23; 5.]

Pienjänniteverkkoa syöttää 20/0,4 kV:n jakelumuuntaja. Pienjänniteverkko rakennetaan yleensä haja-asutusalueilla säteittäisenä. Tämä johtuu kustannussyistä. Tämä toteutetaan AMKA-riippukierrehajotuksella. Muuntajat sijaitsevat perinteisesti pylväissä, mutta

verkkoja parannettaessa rakennetaan tulevaisuutta ajatellen puistomuuntajia. Puistomuuntaja ei ole pylväässä, vaan maan tasalla, tämä helpottaa maakaapeliverkon rakentamista. Kaupungeissa ja taajamissa pienjakeluverkko on miltei aina maakaapeleilla toteutettu rengasverkko. Verkkoa käytetään kuitenkin kuten keskijänniteverkkoakin säteittäisenä. Siirtokyky 0,4 kV:n johdoilla on muutamista kymmenistä satoihin kilowatteihin muutamalla sadalla metrillä. Myös nämä pituudet kasvavat siellä, missä siirrettävä teho on pieni. Kotitaloukset liittyvät pienjänniteverkkoon, kun taas teollisuus, kauppa, palvelut ja maatalous liittyvät jakelu-, alue-, tai kantaverkkoon tehontarpeesta riippuen. [4, s.11–23; 5.]

Jakeluverkko ei ole kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:n vastuulla, vaan erillisten verkkoyhtiöiden hallinnassa. Verkkopalveluita tarjoavia yhtiöitä kutsutaan verkkoyhtiöiksi. Sähköverkkotoimintaa tarvitaan Energiamarkkinaviraston (EMV) myöntämä verkkolupa. Verkonhaltijalla on verkon ylläpito- ja kehittämisvelvollisuus, sähkönkäyttöpaikkojen ja tuotantolaitosten liittämismvelvollisuus sekä sähkönsiirtovelvollisuus. [4, s.11–23; 5.]

### Sähköasema

Sähköasema on yksi jakeluverkon tärkeimmistä rakenneosista, kohta mistä syötetään keskijänniteverkkoa, eli muunnetaan suurempi jännite, yleensä 110 kV, 20 kV:n tasolle.

Sähköasema jaetaan kytkinlaitokseen sekä muuntoasemaan. Kytkeinlaitoksessa yhdistetään samassa jännitetasossa olevia johtoja, kun taas muuntoasemassa yhdistetään kahdessa eri jännitetasossa olevia johtoja muuntajan avulla. Haja-asutusalueilla käytetään ilmaeristeisiä kytkinlaitoksia, koska siihen on yleensä tilaa. Kaupungeissa sekä taajamissa käytetään kaasueristeisiä kytkinlaitoksia tilanpuutteen ja ulkonäön takia. Sähköasema huolehtii monin eri tavoin jakeluverkon turvallisuudesta sekä sähkönjakelun häiriöttömyydestä. Jos esimerkiksi sähköjohdossa tai kaapelissa on vikaa, sähköaseman suojauslaitteet havaitsee häiriön ja katkaisee sähkönsyötön turvallisuuden takaamiseksi. [4, s.11–23; 6; 7.]

## 4 Tulevaisuuden jakeluverkot ja pienjänniteverkot

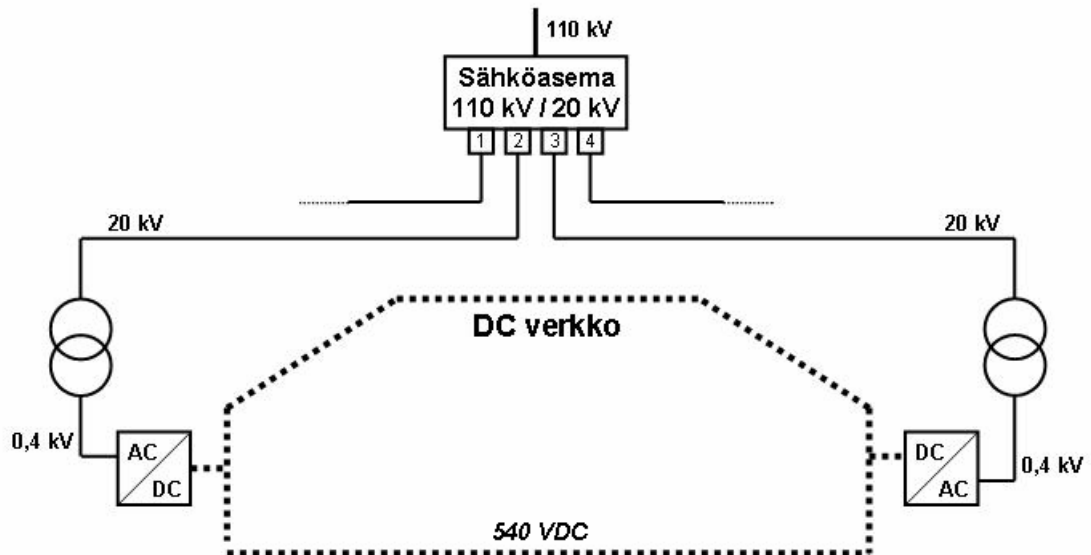
Vaikka Suomen nykyinen sähköverkko toimii hyvin, ja on vakaa sekä luotettava ja häviöt ovat vain 3 % sähköön kulutuksesta, ei kolmivaihevaihtovirtajärjestelmä kuitenkaan ole

ideaali vastaamaan tämän päivän sähköjakelu tarpeisiin. Järjestelmässä on asioita, jotka rajoittavat siirtokapasiteettia sekä sähkön laatua. Erityisesti pitkillä siirtoetäisyyksillä esiintyy paljon häviöitä ja jännitteenalenema lisääntyy merkittävästi. Laadun ylläpitämiseen vaaditaan suurempia johdinpoikkipintoja ja tehokkaampia muuntajia, jotka taas lisäävät kustannuksia. Suuret muutokset nykyiseen järjestelmään on nähty tarpeettomina, sillä komponenttien pitoaika on erittäin pitkä, eikä muunlaisen järjestelmän ole katsottu olevan kustannustehokas. Viime vuosina muita ratkaisuja on kuitenkin alettu tutkimaan enemmän. [23.]

Energian tuotanto ja kulutus tulevat tulevaisuudessa näyttämään erilaiselta. Tänä päivänä tuotanto on varsin keskitetty, mutta erityisesti uusiutuvan energiatuotannon lisääntymisen myötä tullaan saamaan hajautetumpaa energiatuotantoa. Tällaista energiantuotantoa ovat esimerkiksi aurinkosähkö, tuulivoima sekä polttokennot. Myös jakeluverkoissa tullaan näkemään muutoksia ja energianvarastoinnissa tapahtuvan edistyksen myötä verkkojenkin rakenne muuttuu.

Tehoelektroniikan kehitys on tuonut paljon uusia mahdollisuuksia mitä voitaisiin käyttää myös jakeluverkoissa, esimerkiksi nk. smart grid-järjestelmää. Tulevaisuuden verkoilla pyritään luonnollisesti pääsemään korkeampaan luotettavuuteen, joka tarkoittaa suurhäiriöalttiuden merkittävää vähenemistä. Kysymys ei ole, tullaanko tulevaisuudessa käyttämään tasasähköä enemmän jakelussa ja kiinteistöissä kuin tänä päivänä, vaan milloin ja miten laajasti. Smart grid on nimensä mukainen älykäs sähköverkko, josta kerrotaan enemmän myöhemmin tässä luvussa, kun käydään läpi, miten verkot muuttuvat ja miten ne voisivat muuttua. [8, s.35.]

Kuvassa 1 on periaatekuvan siitä, miltä pienjännitetasasähköjakelu voisi näyttää. Sähköasema syöttää keskijänniteverkkoa, johon on liitetty jakelumuuntajat. Jakelumuuntajien yhteydessä on tasasuuntaajat, jotka syöttävät tasasähköverkkoa. [12.]



Kuva 1. Esimerkki tulevaisuuden tasasähköverkosta [8, s.48].

#### 4.1 Keskijännite DC-jakeluverkko

Keskijännite DC-jakeluverkon avulla voitaisiin siirtää suurempia tehoja pidempiä matkoja, pienemmillä häviöillä, minkä lisäksi sähkön laatua voitaisiin parantaa. Suurempi teho perustuu siihen, että käyttäessä tasasähköä, ei kaapeleissa esiinny reaktanssia. Voitaessa siirtää suurempi teho DC:n avulla, voisi jossain paikoissa olla jopa mahdollista vaihtaa häiriöalttiit keskijänniteilmajohdot pienjännitekaapeleihin. Tämä olisi erittäin suotuisaa paikoissa, joissa ilmajohdot menevät metsien läpi. [8, s.35–42.]

Keskijännite DC-jakeluverkkoa voitaisiin hyödyntää esimerkiksi tiheillä ydinkaupunkialueilla, joilla sijaitsee isoja toimistorakennuksia. Toimistorakennuksissa on suuri määrä IT-laitteita, jotka käyttävät sisäisesti DC-jännitettä ja valaistus toteutetaan pitkälti LED-valaisimilla, joka toimii niin ikään DC-jännitteellä. Voidaan siis päästä eroon monesta tasasuuntaajasta, joissa tänä päivänä syntyy energiahäviöitä. [8, s.35–45.]

Toinen tasavirran käyttökohde voisi olla isot datakeskukset, joihin tuodaan yleensä 110 kV:n liittymä. Datakeskuksissa on paljon IT-laitteita ja isoja palvelimia, jotka kaikki toimivat sisäisesti tasajännitteellä, mikä tarkoittaa, että melkein kaikki laitteet datakeskuksessa voitaisiin jo nyt syöttää tasajännitteellä. Rakentamalla tasajänniteliittymä näihin rakennuksiin päästäisiin jälleen eroon häviöitä synnyttävistä tasasuuntaajista. Edelleen

on käytettävä muuntajia muuntamaan jännitetaso sopivaksi näille laitteille, mutta AC-DC-muunnoksien kokonaismäärä vähenee ja näin säästyy energiaa. Jos syöttävässä verkossa esiintyy häiriöitä, laitteita syötetään UPS-varajärjestelmillä, jotka toimivat tasasähköllä. Tekniikka on jo käytössä toimivaksi todettu. Lawrence Berkeley National Laboratorion tutkimuksen mukaan datakeskuksissa voitaisiin saavuttaa jopa 28 %:n energiasäästöjä käyttämällä DC-jakelua. Yhtiö nimeltä SAP vaihtoi vuonna 2010 Kaliforniassa sijaitsevista toimistojen datakeskuksista jakelujärjestelmän AC:stä DC:hen, ja säästi 24.000 dollaria (USD) vuotuisissa sähkölaskuissa. [8, s.42–45; 9.]

#### 4.2 Pienjännite DC-jakeluverkko

Tulevaisuudessa voidaan jakelumuuntajien yhteydessä rakentaa tasasuuntaajia, joihin liitettäisiin tasajännite jakeluverkko. DC-jakeluverkko vietäisiin asiakkaalle asti, joka voisi valita joko AC- tai DC-liittymän. Asiakkaan valitessa AC-liittymän rakennetaan vaihtosuuntaaja, jolloin ei tarvitse uusia laitteita talon sisällä. Vastaavasti voitaisiin uusia kokonaisverkkoja myös asuinalueilla, joilla asiakkaille nykyään tulee AC-liittymä. [8, s.35–45.]

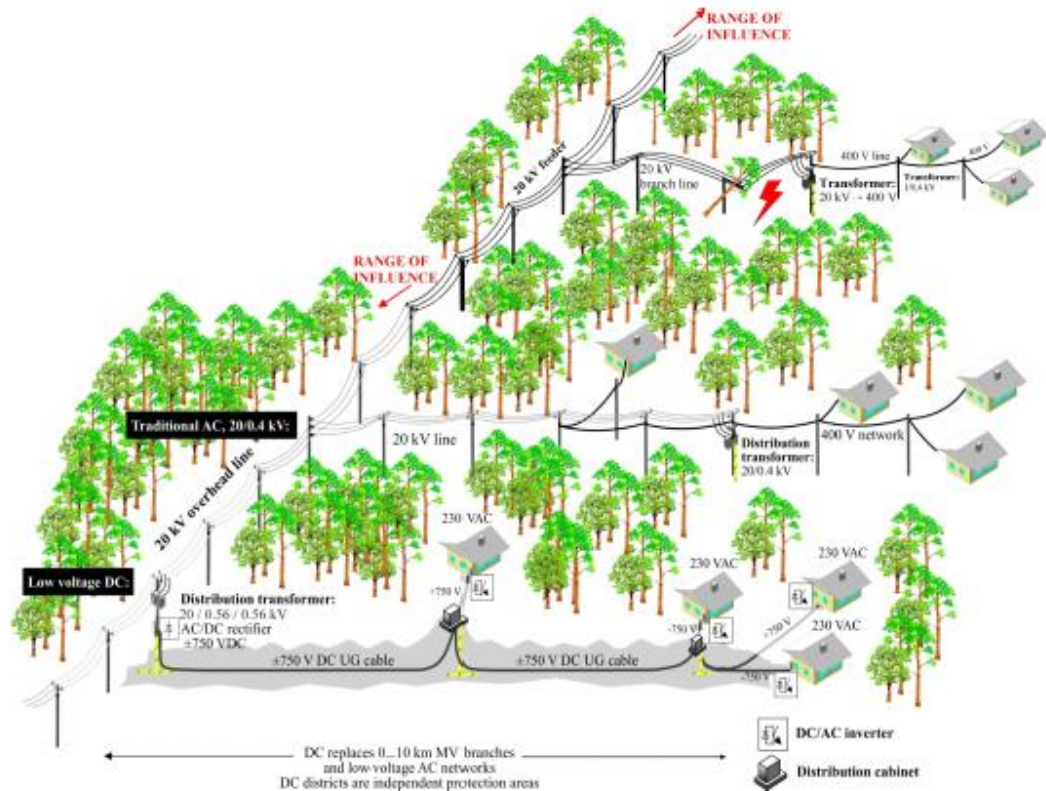
Pienjännitteen raja on määräysten mukaan 1000 V AC ja 1500 V DC. Tämä tarkoittaa, että pienjännite DC-jakelussa voitaisiin käyttää korkeampaa jännitettä kuin nykyinen pienjännite AC-jakelussa. DC:llä voitaisiin siirtää suurempia tehoja pidempiä matkoja, mikä olisi erittäin hyödyllistä eteenkin taajama sekä haja-asutusalueilla missä etäisyydet ovat pitkiä. Energiahäviöt olisivat pienemmät jännitteen ollessa korkeampi ja pidemmän etäisyyden ansiosta voidaan myöskin säästää jakelumuuntajien määrässä. [8, s.35–45.]

DC-jakeluverkko toimisi erittäin hyvin niissä kohteissa, joissa sijaitsee paljon hajautettua tuotantoa. Hajautettu tuotanto tulee lisääntymään paljon tulevien vuosien aikana, kun esimerkiksi aurinkokennojen hyötysuhteet paranevat ja hinnat laskevat. Aurinko- ja polttokennot toimivat DC-jännitteellä ja liitettäessä tuotanto DC:llä toimivaan jakeluverkkoon saavutetaan parempi hyötysuhde. Energian varastointiteknologian kehittyessä järjestelmien kapasiteetti kasvaa, sähköön laatu sekä verkon toimivuus paranee. Koska esimerkiksi akut toimivat DC:llä, vähenisi myös vaihto- ja tasasuuntaajista aiheutuvat häviöt DC-jakeluverkolla. [8, s.35–45.]

Kun pienjänniteverkkoa syöttävään keskijänniteverkkoon syntyy häiriöitä, voitaisiin kytkeä pienjänniteverkko irti keskijänniteverkosta ja syöttää pienjänniteverkkoa varastoista. Tämä vaatii tietysti isoja kapasiteetteja varastoinnissa, mutta älykkään verkon avulla voidaan ohjata syötettävää sähköä katkon ajaksi niin, että tärkeimmät laitteet pysyisivät käynnissä. Älykkäästä verkosta kerron tässä luvussa myöhemmin lisää. [8, s.35–45.]

Kuvassa 2 nähdään miten pienjännitejakelu on toteutettu haja-astusalueella sekä kuinka se voitaisiin toteuttaa DC-jakeluverkolla. Kahdessa ylimmässä asuinalueessa on esimerkki, miten jakelu on nyt toteutettu. Keskijänniteverkon jakelumuuntaja 20/0,4 kV on pylväsmuuntajamallinen, ja se on tuotu runkolinjasta sisään kulutuspisteitä päin. [10, s.31–34.]

Kolmesta asuinalueesta alimmassa on mallinnettu, miten voitaisiin rakentaa DC-pienjänniteverkko. Keskijännitteen runkolinjassa olevasta muuntajasta, jonka yhteydessä on tasasuuntaaja, syötetään DC-jakeluverkkoa loppukäyttäjille saakka. Tässä pienjännitejakelussa käytetään  $\pm 750$  V:n DC:tä, mikä tarkoittaa, että kaapelin toinen napa on +750 V DC ja toinen -750 V DC. Esimerkissä taloissa on vaihtosuuntaajat, jotka varmistavat sähkönsyötön kaikille käytössä oleville laitteille. Tämä on toimiva periaate vanhoihin taloihin, joissa ei haluta tehdä muutoksia talon sisällä. Esimerkissä voitaisiin myös jättää vaihtosuuntaaja pois talosta, johon halutaan vain DC-liittymä, ja näin voidaan tehdä rakennettaessa uutta taloa ja käytetään alusta asti DC-järjestelmiä. DC:n käyttöä asuintaloissa käyn läpi tarkemmin luvussa 7. [8, s. 42–45; 10, s.31–34.]



Kuva 2. Nykyinen AC-pienjännite- ja tulevaisuuden DC-pienjännitejakelu [10, s.34].

Suomesta löytyy eräs haja-asutusalue, joka toimii pienjännitetasasähköllä. Suur-Savon sähkö Oy:n alueella on rakennettu kaksi kilometriä pitkä tasasähköjohto, joka toimii 750 V:n tasajännitteellä. Johto syöttää sähköä neljälle asuintalolle, joissa on vaihtosuuntaajat, sillä talot toimivat sisäisesti vaihtosähköllä. [12]

#### 4.3 Nykyisten pienjännitekaapeleiden käyttö

Tasasähköön siirtyessä kustannuksien puolesta olisi tärkeää, että voidaan käyttää vanhoja pienjännitekaapeleita, ettei kokonaisuus tulisi liian kalliiksi. On tehty paljon kokeita, joissa on testattu pienjännitekaapelin eristeen tasajännitekestoisuuden. Pienjännitteeksi lasketaan tasasähkö käytössä aina 1500 V:iin asti, mikä tarkoittaa, että jännite olisi korkeampi kuin pienjännitevaihtosähkössä ja tämä voisi rasittaa kaapelia enemmän. [10, s.75–81]

Käyttäessä 0,6/1,0 kV:n maakaapeleita standardissa sanotaan että vaihtosähkön lisäksi saa käyttää tasasähköä. Standardien mukaan suurin sallittu maakaapelin tasajännite on

1500 V. Standardeissa ei ole määritelty AMKA-riippukierrekaapelin tasajännitekestoisuutta. Pienjännitekaapeleiden eristeet ovat alttiina mekaanisille vaurioille, näin olleen eristyksen kestävyys mekaaniselle rasitteelle on ollut määräävämpi tekijä kaapeli rakenteiden mitoituksessa. Näin ollen kaapeleiden eristepaksuudet ovat sähköisessä mielessä reiluja. [10, s.75–81]

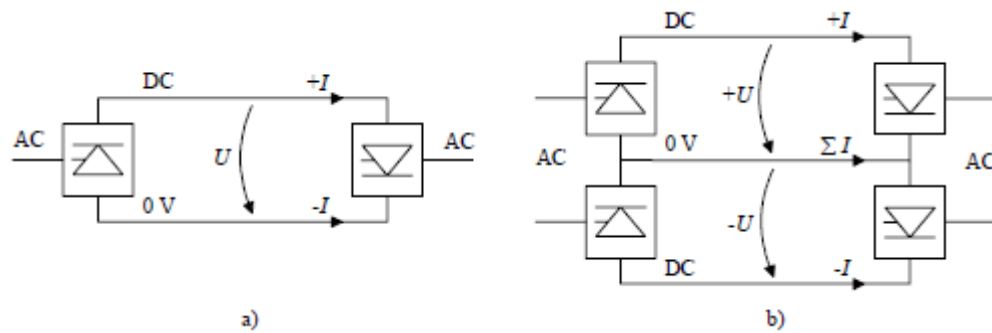
TTY:n laboratoriossa on tehty tämän päivän tyypillisimmille pienjännitekaapeli tyypeille (AXMK, AXCMK, AMCMK, MCMK, AMKA ja MMJ) mittaavia testauksia, joissa tutkittiin kaapeleiden soveltavuus DC käytössä. Tehdyt tutkimukset, olivat seuraavat [10, s.75–81]:

- Läpilyöntijännitemittaukset vaihtojännitteellä
- Läpilyöntijännitemittaukset tasajännitteellä
- Läpilyöntijännitemittaukset yhdistetyllä tasa- ja syöksyjänniterasituksella
- Eritysrakenteiden varautumisen aiheuttaman mahdollisen läpilyöntijännitteen alentumisen selvittäminen
- Kosteusrasitustesti.

Tutkimus tuloksien perusteella voidaan päätellä, että nykypäivän pienjännitekaapelit soveltuisivat tasasähkökäyttöön. Tuloksien perusteella kaapelit kestävät lyhytaikaisesti suuriakin ylijännitteitä, eivätkä eristykset rasitu tasasähkökäytössä enempää kuin vaihtosähkökäytössäkään. Testit tehtiin uusille suorille kaapeleille, mikä voi vääristää tuloksia vähän, sillä todellisuudessa kaapelit eivät ole suoria, ja järjestelmää vaihdettaessa käytettäisiin vanhoja kaapeleita. [10, s.75–81.]

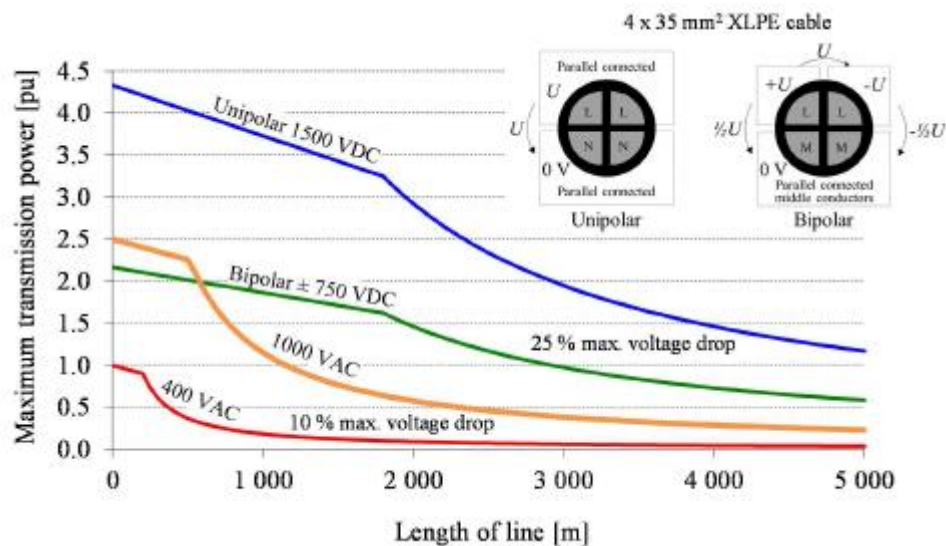
Jakelujärjestelmässä käytettäisiin kahta eri järjestelmää, bipolar tai unipolar. Bipolar on kolme johtoinen järjestelmä, missä on esimerkiksi +750 VDC-, 0 VDC-, sekä -750 VDC-johdin. Unipolar-järjestelmässä on kaksi johdinta, joista toisessa on 0 VDC ja toisessa esimerkiksi 1500 VDC. Jännitetasot riippuvat siitä missä jakelujärjestelmässä kaapelit käytetään. Edellä mainitut jännitetasot olisivat käytössä pienjännitejakelussa. Kuvassa 3 nähdään, miten unipolar sekä bipolar eroavat toisistaan, unipolarissa on kaksi johdinta ja bipolarissa on kolme johdinta. [12, s.25.]





Kuva 3. a) Unipolar kytkentä b) Bipolar kytkentä [11, s.3].

Kuvassa 4 nähdään, miten paljon tehoa ja kuinka pitkälle tehoa voidaan siirtää nykyisillä pienjännitekaapeleilla, sekä AC- että DC-järjestelmässä. Nähdään, että parhaimmillaan voidaan siirtää jopa 15 kertaa enemmän tehoa käyttämällä  $\pm 750\text{ VDC}$ -bipolar-järjestelmää  $400\text{ VAC}$ -järjestelmän sijaan. [12, s.16–17.]



Kuva 4. Kaapeleiden tehonsiirtokyky Lähde [12, s.17].

#### 4.4 Smart grid

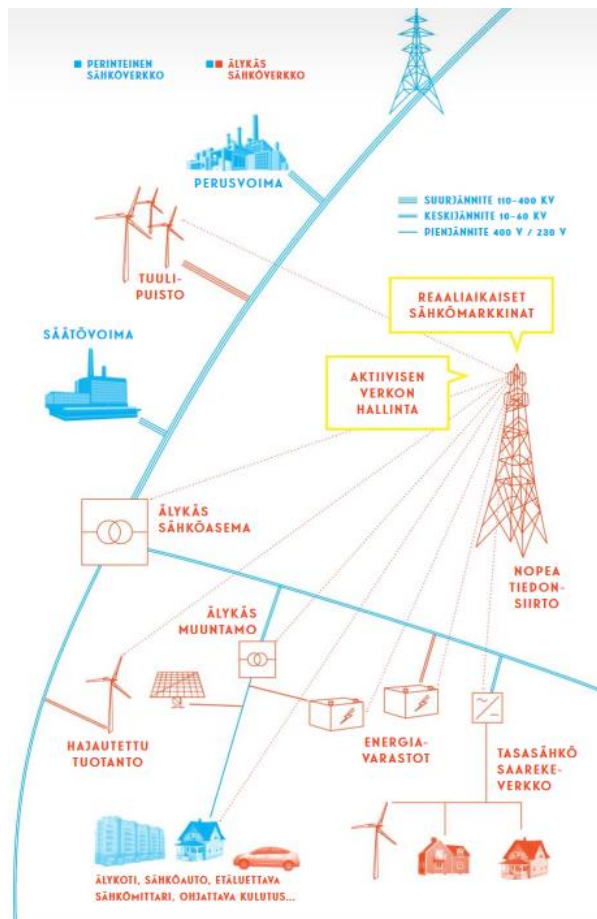
Smart grid on suomeksi älykäs sähköverkko. Älykäs sähköverkko on kehittynyt sähköverkko, joka on nimensä mukaan "älykäs", se hallinnoi sähkön kysyntää ja tuotantoa kestäväällä, luotettavalla ja taloudellisella tavalla. Tämä perustuu kehittyneeseen infra-

struktuuriin, jossa on tehty helpoksi kaikkien osallisten integroituminen. Kuvassa 4 nähdään periaatekuvan, miten verkon eri osat ovat kytketty toisiinsa ja kommunikoivat. [14; 15.]

Älykkäällä sähköverkolla pystytään parantamaan sähkön laatua, parantamaan verkon hyötysuhdetta sekä helpommin integroida hajautettu sähköntuotanto verkkoon. Käyttämällä verkossa älykkäitä komponentteja, jotka kommunikoivat toistensa kanssa mahdollistaen tilaseurannan sekä kokonaisoptimoinnin, voidaan tehdä sähkönjakelusta joustavampaa. Tämä tehdään yhdistämällä sähkö-, automaatio- sekä tietotekniikka. Näitä älykkäitä komponentteja ovat muun muassa itsesuojattu jakelumuuntaja, älykäs sulake, älykäs muuntaja sekä älykäs talokeskus. Tämän päivän älykkäät sähköverkot toimivat tois-  
taiseksi vaihtojännitteellä, mutta tasajännitteellä toimivaa älykästä sähköverkkoa jo kehitetään. [14; 15.]

DCSMARTin tavoite on integroida smart grid -tekniikkaa kehitteillä olevaan DC-jakeluverkkoon. Tämä DCSMART-verkko liitetään ylempään jakeluverkkoon. DCSMART-verkkoon liitettäisiin hajautettu tuotanto, sähkönvarastointi ja kotitalouksia. Hajautettu tuotanto, eli esimerkiksi aurinkopaneelit, voidaan kytkeä suoraan DC-verkkoon ilman vaihtosuuntaajia, mistä tulisi häviöitä. [13.]

Erilaisilla sähkön varastointitekniikoilla voitaisiin varastoida sähköä siten, että jos ylemmässä jakeluverkossa olisi ongelmia, pystyttäisiin aluetta kuitenkin syöttämään varastoista. Järjestelmä tulee kuitenkin ohjata niin, että vikatilanteissa sähköä ohjataan sinne, missä sitä eniten tarvitaan, esimerkiksi talvella ensisijaisesti lämmitykseen. Energiavarastoilla tehdään myös sähkön laadusta parempi. Kotitalouksiin tulisi suoraan DC-liitymä, koska tämän päivän kotitalouksissa lähes kaikki laitteet toimivat sisäisesti tasajännitteellä. Talon sähkökeskuksessa, missä lähdöt talon sisäiseen verkkoon sijaitsevat, ja-  
ettaisiin kiskoille eri tasajännitetasoja. Näin päästään eroon suurin piirtein kaikista tasa-suuntaajista talojen sisältä. [13; 14.]



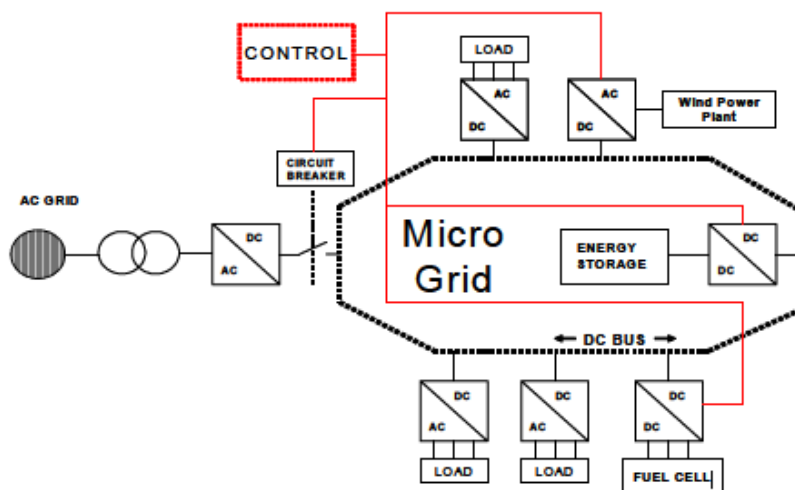
Kuva 5. Älykkään verkon periaatekuva [15].

#### 4.5 Mikroverkot

Mikroverkko on pienjänniteverkko, joka alkaa jakelumuuntajasta. Mikroverkolla on oma, itsenäisesti toimiva, paikallista verkkoa hallinnoiva verkon- ja energianhallintajärjestelmä, joka määrittelee verkon toiminnan eri tilanteissa. Järjestelmä hallitsee verkkoa sekä erillisessä saarekekäytössä sekä yhteistyössä jakeluverkon verkkohallintajärjestelmän kanssa. Järjestelmää pystytään ajamaan rinnakkain syöttävän verkon kanssa tai operoida irti kytkettynä syöttävästä verkosta. Tämä tarkoittaa, että verkkoon on kytketty hajautettu sähkötuotanto eli uusiutuvaa energiaa, kuten aurinkokennoja tai pieniä tuuli-voimaloita. Mikroverkon toiminnan varmistamiseksi täytyy verkkoon liittää yksi tai useampi energiavarasto. Näin toteutettuna nostetaan sähkönjakelun luotettavuutta sekä verkon hyötysuhdetta. [8, s.45–47.]

Vian sattuessa mikroverkkoa syöttävässä verkossa voidaan verkko kytkeä irti ja syöttää verkkoa omalla sähköntuotannolla vähentäen vian haittaa kokonaisuudessaan. Nykypäivän mikroverkot on suunniteltu AC-käyttöön, koska ne ovat usein rakennettu jo valmiiseen verkkorakenteeseen. Tulevaisuudessa rakennettaessa täysin uutta sähköverkkoa tulisi ne rakentaa suoraan DC-käyttöön, koska silloin on mahdollista saada suurin mahdollinen hyöty sekä hajautetusta tuotannosta että energianvarastoinnista. DC-verkon suojaus on teknillisesti monimutkaisempi toteuttaa, mutta DC:llä päästäisiin eroon verkon tahdistamisesta, silloin kun saarekekäytössä ollut mikroverkko jälleen liitetään jakeluverkkoon. [8, s.45–47.]

Kuvassa 5 nähdään mikroverkon mallinnettuna. Kuvasta selviää, miten verkkoon sisältyy kuormien lisäksi myös hajautettu sähköntuotanto sekä sähkön varastointi. Näin ollen voidaan syöttää verkkoa myös, kun AC-puolen verkossa on häiriö.



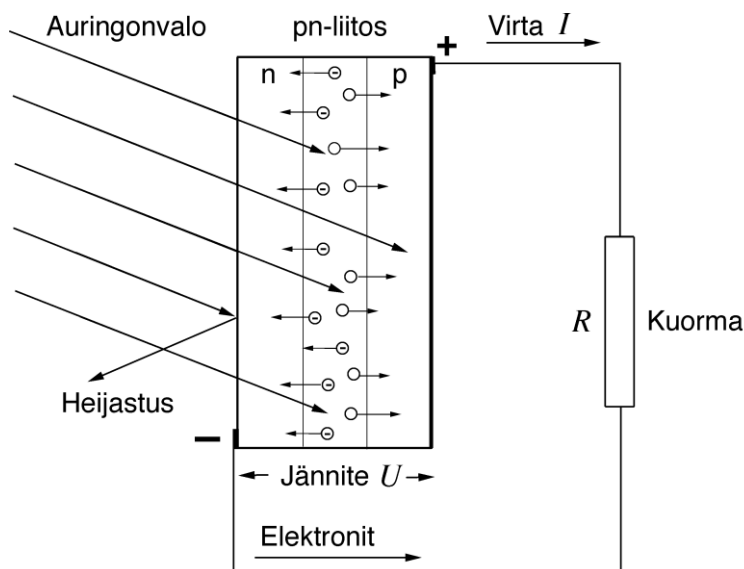
Kuva 6. Mikroverkko suunnitelma [8, s.68].

#### 4.6 Energian tuotanto ja varastointi

Verkkoon liitetty hajautettu energiantuotanto tulee varmuudella lisääntymään tulevaisuudessa, sillä se ajaa ilmastollista kestävyyttä ja hiilineutraalisuutta, sekä parantaa sähkön laatua ja verkon toimintavarmuutta. Vaikka hajautettuun tuotantoon lukeutuu aurinkoenergian ja tuulivoiman lisäksi esimerkiksi biomassa ja muita biopolttoaineita, keskityn seuraavassa kuitenkin pääosin edellä mainittuihin.

Aurinkokennojen hyötysuhteet nousevat ja hinnat laskevat, joka motivoi sekä verkkoyhtiöitä että yksityisiä tahoja investoimaan kennoihin. Suomessa olisi mahdollista hyödyntää auringosta saatava energia paljon nykyistä enemmän. Etelä-Suomessa neliömetriin kohdistuu vuosittain noin yhden megawattitunnin verran aurinkosäteilyä. Tästä nykyiset aurinkokennot voivat hyödyntää noin 15–20 %. [18, s.7–11.]

Aurinkokennot tuottavat auringon säteilyn avulla sähköä, joka on tasasähköä. Säteilyn fotonien energia irrottaa aurinkokennon puolijohdemateriaalin elektroneja, jolloin muodostuu elektroni-aukkopareja. Näihin vaikuttaa kennon p- ja n-kerrosten sisäinen sähkökenttä, jossa elektronit kulkeutuvat kennon negatiiviselle elektrodille ja aukot positiiviselle. Kun kytketään kuorma elektrodien välille, syntyy virtapiiri. Tämä selviää kuvassa 6. [16, s.1–9.]



Kuva 7. Aurinkokennon toimintaperiaate [16, s.1].

Aurinkosähkö on altis vaihteleville sääolosuhteille sekä riippuvaista päivän pituudesta. Kesällä aurinkosähköä voisi hyödyntää merkittävän paljon, kun taas talvella se olisi jopa vähäistä. Suomessa tämä lisää haastetta kokonaissuunnitteluun ja tarkoittaa, että hajautetun sähkötuotannon tulee olla monipuolisempi kuin vain yksi järjestelmä. [16, s.1–9.]

Isot pysäköintialueet olisivat mainio paikka aurinkokennojen asennuksille. Voitaisiin rakentaa pysäköintialueiden yli katoksia, joihin asennettaisiin aurinkokennoja. Tuotetun energian avulla voidaan ladata lisääntyvää sähköautokantaa, lisäksi kesällä katokset

suojaisivat autoja ilmanvaihteluilta. Ylijäämä sähkö syötettäisiin jakeluverkkoon. [18, s.7–11.]

Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jonka avulla polttoaineen (tyypillisesti vety) ja hapettimen (happi tai ilma) kemiallinen energia muunnetaan sähköksi tai lämmöksi ilman palamistapahtumaa. Kennon toiselle elektrodille syötetään vetyä ja toiselle happea tai ilmaa. Polttokennon selkeä etu on sen korkea hyötysuhde 60 %, ja se soveltuu moniin eri käyttökohteisiin, sillä ne toimivat hyvin myöskin osateholla. Polttokennot ovat kuitenkin vasta kehitysvaiheessa ja siksi tänä päivänä vielä erittäin kalliita. [17, s.28–29.]

Pientuulivoima koostuu yksittäisistä tuulivoimaloista, jotka lasketaan hajautetun pientuotannon piiriin. Pientuulivoima jaetaan neljään luokkaan käyttötavan sekä laitetehton mukaan.

- mökkituotanto ja akkujen latauslaitteet (alle 1 kW)
- liikerakennukset ja taajama-asunnot (alle 5 kW)
- suuret yritykset ja maatalous (5–50 kW)
- telecom-käyttö (muutamia kW).

Pientuulivoimaa käytetään toistaiseksi Suomessa varsin vähän. Osasyyn tähän on suuret investointikustannukset ja se, että tuulivoima on aiheuttanut paljon närkästystä ihmisissä, joiden mielestä voimat pitävät melua sekä pilaavat maisemaa. Laatomalla hyvä tuulikartta Suomesta voitaisiin nähdä, missä tätä järjestelmää kannattaisi käyttää osana hajautettua sähköntuotantoa. [18, s.11.]

Hajautettuun tuotantoon voidaan laskea myös pien- ja minivesivoimalat. Minivesivoima tarkoittaa alle 1 MW:n voimaloita ja pienvesivoima 1 – 10 MW:n voimaloita. Pienvesivoimaloiden hyvä puoli on, että ne eivät vaadi erillisiä vesialtaita, jonka ansiosta ekologiset ja maisemalliset vaikutukset ovat varsin pieniä. Vuonna 2009 pien- ja minivoimalaitoksien yhteenlaskettu energiatuotanto oli 1089 GWh/a, voimaloiden potentiaalin ollessa jopa 288 MW ja 1413 GWh/a. [19; 18, s.11–12.]

Sähkön varastoinnista tulee entistä tärkeämpää, lisättäessä runsaasti hajautettua sähköntuotantoa. Uusiutuva sähköntuotanto muuttuu nopeasti, sillä se on riippuvainen säätilasta, siksi verkossa pitää olla sähkövarastoja, jotka reagoivat nopeasti tuotannon vaihteluihin. Nykyajan älykkäät verkot voivat vaatia katkotonta sähkönsyöttöä toimiakseen

oikein ja sähkövarastot nostavat siten sähkön laatua. Ilman sähkön varastointia ei voi saada täyttä hyötyä uusista älykkäistä verkoista.

Uusien varastointimenetelmien kehittäminen on erittäin tärkeää, jotta voisimme saada uusiutuvan energiatuotannon energian mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella talteen. Samalla täytetään ympäristöystävällisyydelle ja energiatehokkuudelle asetetut vaatimukset.

Älykkäissä verkoissa energian varastoinnilla on monta eri tehtävää. Riippuen energiavarastojen käyttötarkoituksesta, niitä voidaan sijoittaa sähköverkon jokaiselle eri jännitetasolle. Tämä tarkoittaa, että varasto voisi sijaita tuotannossa, sähköjakeluverkossa tai loppuasiakkaalla. Varastoitua energiaa tarvitaan esimerkiksi taajuudensäädössä sähkötuotannon ja verkon kuormien tasaamiseen, reservitehoon sekä katkottomaan sähköjakeluun. Energiavarastojen tulee olla riittävän suuret, jotta niitä voidaan käyttää varavoimana verkon vikaantumishetkellä, ettei sähkökatkoksia ilmene. [15.]

Tärkeä asia sähköntuotannossa on, että tuotanto ja kulutus ovat tasapainossa, muuten sähköverkkoon tulee epätasaisia heilahduksia. Ylituotantohetkellä ongelmana on taajuuden nousu, ja vastaavasti tuotannon ollessa pienempi kuin kulutus, taajuus laskee. Riittävällä energian varastoinnilla ilmiöitä voitaisiin ehkäistä. Lataamalla varastoja ylituotannon hetkillä ja purkamalla varastoja verkkoon alituotannon aikana, voidaan ehkäistä nämä heilahdukset. Varastoja käytettäisiin niin, että niitä ladattaisiin, kun sähkön hinta on alhainen, ja päivällä sähkön hinta ollessa korkeimmillaan, käytettäisiin varastoitu energia. Näin hallitaan kustannuksia energianvarastoinnilla. [15.]

Energian varastointitekniikoita on jo olemassa lukuisia ja tulevaisuudessa tullaan näkemään vielä uusia ratkaisuja. Eri tekniikoita tulen käymään läpi myöhemmin tässä luvussa. Valittaessa eri tekniikoiden välillä on tärkeää löytää paras ratkaisu jokaiseen tilanteeseen. Sähköenergian varastoinnin edellytys on, että ensin muutetaan energian muoto varastoitavaan muotoon. Nykyajan tehoelektroniikan avulla voidaan paremmin integroida varastointia älykkääseen sähköverkkoon. [20, s.307–317.]

Vanhin ja yleisin energian varastointiin käytettävä tekniikka on akkutekniikka, tarkemmin sähkökemiallinen akku. Akut ovat ladattavissa jatkuvasti ja uudestaan, ja niillä on pitkä käyttöikä. Akut voidaan jaotella tehoakkuihin sekä energia-akkuihin. Tehoakut pystyvät

tuottamaan lyhyitä korkeavirtaisia sähköpiikkejä, kun taas energia-akuista voidaan purkaa suuri energiamäärä pidemmällä aikavälillä. Taulukossa 1 on viiden eri akkutyyppin ominaisuuksia. [20, s.307–317.]

Taulukko 1. Akkujen ominaisuuksia [20, s.317].

Akku	Teho	Purkausaika	Hyötysuhde	Käyttöikä
Litiumioni-	5 MW	15 min–muutama tunti	90 %	15 vuotta
Lyijy-	3–20 MW	10 s–muutama tunti	70–80 %	4–8 vuotta
Natrium-rikki-	35 MW	8 h	80–85 %	15 vuotta
Vanadium-redox-	4 MW	4–8 h	63–80 %	10 vuotta
Sinkki-ilma-	20 kW–10 MW	3–4 h	40–60 %	muutama sata lataus/purkaus-kierrosta

Litiumioniakun etu muihin akkuihin verrattuna on sen suuri energiatiheys, korkea hyötysuhde sekä pitkä sykli käytössä. Litiumioniakulla on myös erittäin pieni itsepurkautumisprosentti. Nämä akut tulisi aina purkaa tyhjiksi ennen kuin lataa niitä uudestaan, sillä muuten akun purkauskkyky heikkenee. [20, s.307–317.]

Lyijy Akku edustaa vanhinta tekniikkaa käyttävää akkua. Ne ovat suosittuja, koska ne ovat edullisia muihin akkuihin verrattuna. Ne eivät kuitenkaan sovellu kovin hyvin energiahuoltoon huonon kestävyys ja purkautumisnopeutensa vuoksi. [20, s.307–317.]

Eniten käytetty korkean lämpötilan akku on natrium-rikkiakku. Niissä on korkea energiatiheys, mutta ovat kalliita ja voivat olla jopa turvallisuushäikä herkästi reagoiva natriumin vuoksi. Japanissa on käytössä tämän tyyppin akku, jonka energiasisältö on 245 MWh ja teho on 34 MW. [20, s.307–317.]

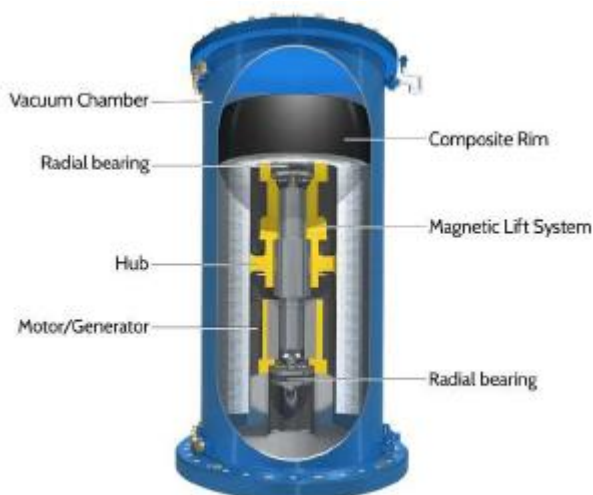
Energia-akkuna toimivalla vanadium-redox -akulla on hyvä hyötysuhde. Tämä akku perustuu virtaustekniikkaan. Tämän tyyppin akku voidaan purkaa ja ladata monta kertaa ilman häviöitä, mutta sen sijaan energiatiheys on pieni. [20, s.307–317.]



Pumppuvoimalaitos varastoi energian potentiaalienergiana. Laitos koostuu kahdesta vesialtaasta, jotka sijaitsevat eri korkeuksissa. Vesi pumpataan alemmasta altaasta ylemmään, kun sähkön kysyntä on pieni ja sähkön hinta on matala. Kun sähkön kysyntä taas on korkea, päästetään vesi ylemmästä altaasta putken kautta turbiinin läpi alempaan altaaseen. Tällä tavalla generaattori, joka on kytketty turbiiniin, tuottaa sähköä. Suurin ongelma pumppuvoimalaitoksen kanssa on löytää sopiva sijoituspaikka, sillä suuren tehon saamiseksi laitos vaatii suuret vesialtaat tai suuren korkeuseron. Voimalaitoksen hyötysuhde on yleensä 70–80 %. Hyvä puoli on, että se voidaan käynnistää ja pysäyttää erittäin lyhyessä ajassa. [20, s.307–317.]

Paineilmavarastot soveltuvat tuotannon alkupäähän, missä on suuri sähkön kysyntä. Tämä menetelmä perustuu ilmaan, joka on puristettu korkeaan paineeseen mekaanisesti kompressorilla, kun sähkön hinta on alhainen. Kun sähköä tarvitaan, päästetään ilma ulos läpi turbiinin, joka pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Nämä ovat usein rakennettu kallion onkaloihin. Haittapuolena ilmaa pitää lämmittää ennen paisumista, ja tämän toteuttamiseen poltetaan esimerkiksi maakaasua. [20, s.307–317.]

Vauhtipyörä on vanha keksintö, jolla liike-energia muutetaan sähköksi generaattorin avulla. Sylinteri pyörii 30 000–40 000 kierrosta minuutissa tyhjiössä parantaakseen hyötysuhdetta. Vauhtipyörän etu on sen pitkä ikä ja vaatimaton huollon tarve. Maailman suurin vauhtipyörä pystyy noin 30 sekunnissa toimittamaan 160 MW tehoa. Kuvassa 8 käy ilmi vauhtipyörän rakenne ja sen sisäiset komponentit. [20, s.307–317.]



Kuva 8. Vauhtipyörän rakenne [20].

Tässä muutama ratkaisu energian varastointiin, luvussa 6 käyn läpi mahdollisuutta käyttää sähköautojen akkuja energianvarastoina. [20, s.307–317.]

## 5 Komponentit

Tässä luvussa käyn läpi muutaman komponentin, joita tarvitaan tasasähkökäytössä. Tehoelektroniikka on yleistynyt sen kehityksen ansiosta, ja siksi komponentit ovat tulleet edullisemmiksi.

### Muuntaja

Muuntaja on laite, jolla pystytään nostamaan tai laskemaan jännitettä. Muuntajan toiselle puolelle kytketään yksi jännitetaso ja toiselle puolelle kytketään toinen, korkeampi tai matalampi jännitetaso. Tasajännitejakeluverkkoja voidaan syöttää nykyisillä muuntajilla, jolloin suuria rakenteellisia muutoksia ei tarvitse tehdä. Myös tekniikka olisi tuttua ja näin ollen asennuksessa aikaa ei kuluisi tutkimiseen. Muuntajien yhteyteen asennettaisiin tasasuuntaaja, joka kytkettäisiin tasajänniteverkkoon. Nämä muuntajat voisivat olla sähköaseman 110/20 kV:n muuntajia, jolloin keskijänniteverkko niin ikään olisi tasajännitteinen, tai sitten jakelumuuntajat 20/1 kV, jolloin vain pienjänniteverkko olisi tasajännitteinen. Muuntosuhde muuttuisi riippuen mitä tasasähköjärjestelmää käytettäisiin, mutta esimerkiksi pienjänniteverkossa muuntosuhde 20/1,11 kV olisi järkevä, kun tavoite on 1 500 VDC unipolar-tasasähköjakelua. Käytettäessä  $\pm 750$  VDC bipolar-tasasähköjärjestelmää, muuntosuhteen tulisi olla 20,5/0,56/0,56 kV. [8, s.48; 10, s.73–75.]

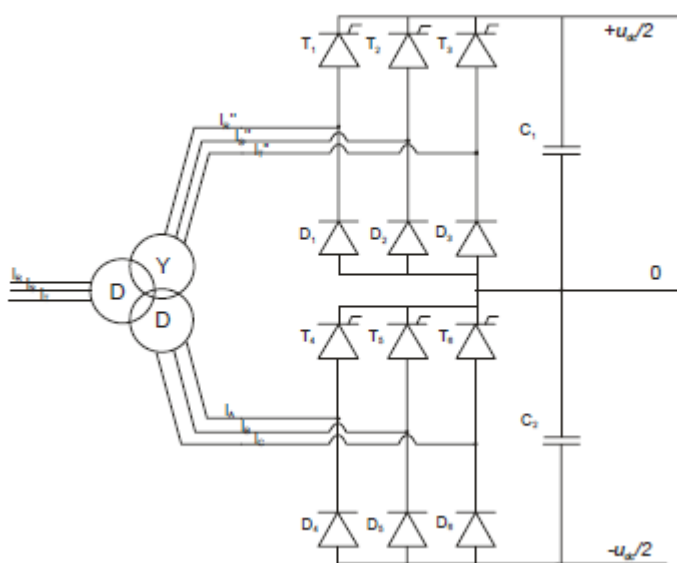
### Suuntaaja

Suuntaaja on laite, jolla pystytään muuttamaan vaihtojännite tasajännitteeksi tai päinvastoin. DC-jakelujärjestelmässä suuntaaja on tehoelektroniikkakomponentti, ja pääasiassa käytössä on kahta eri suuntaajatekniikkaa eli passiivi- sekä aktiivitekniikkaa. Suuntaajatekniikka on tänä päivänä jo tunnettua, ja sitä käytetään paljon esimerkiksi taajuusmuuttajissa. Se kumpaa tekniikkaa käytetään, riippuu käyttökohteesta, sillä passiivitekniikalla voidaan siirtää tehoa vain toiseen suuntaan ja aktiivitekniikalla molempiin. Jos

alueella on paljon hajautettua tuotantoa, voi tavoitteena olla siirtää tehoa molempiin suuntaan. Jälkimmäinen tekniikka on hintavampi. [8, s.48–49; 17, s.10.]

*Tasasuuntaaja* tekee vaihtojännitteestä tasajännitettä. Tasasuuntaajia on muutamalla eri tekniikalla toimivia, ja käyttökohde yleensä määrää, mitä tekniikkaa käytetään. Ylivoimaisesti halvin sekä yksinkertaisin on diodisillalla toimiva tasasuuntaaja. Diodisillalla DC-verkko puolen jännitettä ei voida ohjata, mikä tarkoittaa että DC-jännite on suoraan verrannollinen syöttöpuolen jännitteeseen. Diodisillan heikkouksiin kuuluu se, että tehoa voidaan siirtää vain toiseen suuntaan, mikä rajoittaa sen käyttöä. Esimerkiksi jos on oma sähköntuotanto, mutta ei aikomusta myydä sähköä verkkoyhtiölle, on tämä tekniikka riittävä. Kotielektronikassa kaikkialla, missä syötetään laitetta, käytetään tätä tekniikkaa. [8, s.49; 17, s.10–11.]

Tyristorisilta voidaan käyttää kahdella eri tavalla, täysin ohjattuna tai puoliksi ohjattuna. Ero puoliksi ja täysiksi ohjatun välillä on, että puoliksi ohjatussa puolet komponenteista ovat tyristoreita ja puolet diodeja. Tämä mahdollistaa sen, haluttaessa laskea DC-verkon jännitettä, voidaan se tehdä muuttamalla tyristorien sytytyskulmaa. Normaalissa käytössä tyristorisiltaa käytetään kuitenkin diodisillan tavoin, sillä muuttamalla sytytyskulmaa, verkosta otettava virran särö lisääntyy ja tehokerroin heikkenee. Puoliksi ohjatulla tyristorisillalla voidaan siirtää tehoa vain toiseen suuntaan. Kuvassa 9 havaitaan, että puolet komponenteista ovat tyristoreita sekä puolet diodeja. [8, s.49; 17, s.10–11.]

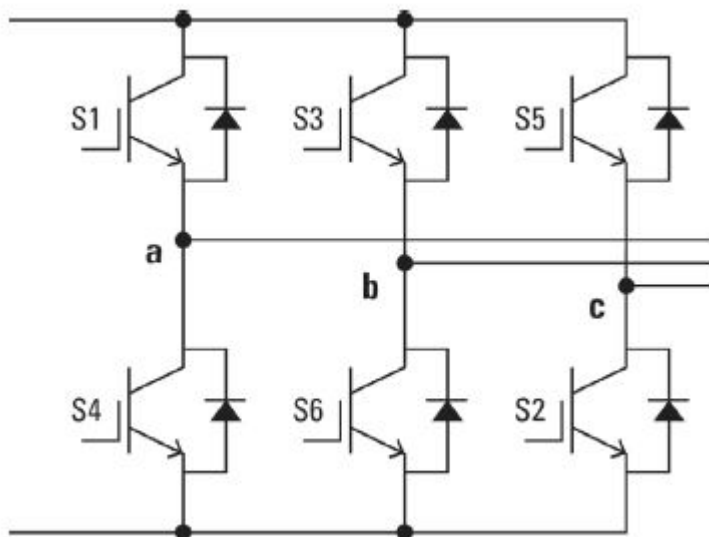


Kuva 9. Puoliksi ohjattu 12-pulssinen tyristorisilta [21, s.14].

Käyttämällä kahta täysin ohjattua tyristorisiltaa vastarinnankytkettynä voidaan siirtää tehoa kahteen suuntaan, joka on järkevä ratkaisu silloin kun pienjännite DC-verkossa on paljon tuotantoa. Bipolar-järjestelmässä käytetään 12-pulssisiltaa ja unipolar-järjestelmässä 6-pulssijärjestelmää. [8, s.49; 17, s.10–11.]

IGBT-silta voidaan toteuttaa aktiivisesti ohjattavana, ja näin sillä voidaan siirtää tehoa molempiin suuntiin. Diodeja sekä tyristoreita hinnoiltaan kalliimmat IGBT:t ovat hyvä vaihtoehto sähköjakelussa, kun kahdensuuntaiselle tehonsiirrolle on tarvetta. Hintaeron takia täytyy kuitenkin saada selvä hyöty IGBT:n käytössä muuhun tekniikkaan verrattuna, että se säilyisi kokonaistaloudellisena. [8, s.49; 17, s.10–11.]

*Vaihtosuuntaajan* avulla syötetään DC-puolelta AC-puolelle tehoa, eli vaihtosuuntaaja muuttaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi. Kuten tasasuuntaajatekniikassa, myös vaihtosuuntaajia voi toteuttaa muutamalla eri tavalla riippuen käyttötarkoituksesta. Vaihtosuuntaajissa käytetään aktiivisia komponentteja, jotta vaihtojännitteen laatu pysyisi korkeana. Yleisesti käytetään PWM (Pulse Width Modulation – pulssinleveysmodulaatio)-ohjattua IGBT-siltaa, joka esimerkiksi mahdollistaa sen, että voidaan suunnata 1400 V tasajännitettä suoraan 400 V:n vaihtojännitteeksi. Kun käytetään IGBT-siltaa, voidaan myös tarpeen vaatiessa jakeluverkossa syöttää tehoa AC-puolelta DC-puolelle. Kuvassa 10 nähdään, miten vaihtosuuntaaja on rakennettu. [8, s.50; 17, s.12.]



Kuva 10. IGBT vaihtosuuntaajasilta [8].

Suodattimet

Suuntaajien ongelmana on, että ne tuottavat yliaaltoja sekä AC-että DC-verkkoa päin, mutta ongelmaan on olemassa ratkaisu. Suodattimet, jotka koostuvat kondensaattoreista, kuristimista sekä vastuksista, suodattavat näitä yliaaltoja. Vaihtosähköverkon puolella suodattimen tehtävä on estää vaihtosuuntaajan tuottamien harmonisten yliaaltojen pääsy jakeluverkkoon sekä tuottaa tarvittava loisteho. Tasasähköpuolelle asennetaan yleensä kondensaattori, joka ehkäisee AC-puolelta tulevia häiriöitä näkymästä tasasähköverkossa, sekä tasoittaa tasasähköpuolen jännitettä. [8, s.51; 17, s.12–13.]

### Katkaisijat

Tasavirran katkaiseminen on vaikeampaa kuin vaihtovirran johtuen siitä, että vaihtovirran 50 Hz:n taajuudella jokaisessa jaksossa on kaksi nollakohtaa, jolloin valokaari, joka syntyy avattaessa katkaisijaa, sammuu itsestään. Tasavirta ei käy nollakohdassa, vaan se on jatkuvasti positiivinen tai negatiivinen riippuen järjestelmästä, minkä vuoksi tarvitaan suurempi katkaisuväli että valokaari sammuu. Komponenttien tulisi olla mahdollisimman kompakteja, tilan säästämiseksi, mikä tuo ylimääräistä päänvaivaa erityisesti silloin, kun tehot kasvavat niin kuin jakeluverkoissa. Turvallisuuden takaamiseksi katkaisijan tulee reagoida nopeasti, ja sen täytyy joka tilanteessa olla luotettava. [8, s.53–55.]

## 6 Kiinteistöjen tasasähkö

Suuri osa kotitalouksien sähköenergiasta kulutetaan elektronisissa kuormissa, joissa tänä päivänä on ulkoinen tai sisäänrakennettu tasasuuntaaja. Tämän lisäksi laitteiden sisällä on muuntajia, jotka tekevät jännitetasoista erilaisia. Nämä peräkkäiset muunnokset heikentävät laitteiden hyötysuhdetta. Liittämällä laite suoraan DC-verkkoon voitaisiin päästä eroon ainakin yhdestä muunnoksesta ja näin kasvattaa hyötysuhdetta.

Suomessa suurin sähkön kuluttaja on teollisuus, joka kuluttaa 46,7 % sähköstä. Teollisuudessa suurin osa sähkönkulutuksesta syntyy sähkömoottoreissa sekä valaistuksessa. Viime aikoina suuressa osassa sähkömoottoreista on alettu käyttämään taajuusmuuttajia, sillä näin pystytään tekemään monipuolisempia säätöjä, esimerkiksi asettamalla pyörimisnopeus erittäin tarkasti, minkä kautta voidaan säästää energiaa. Taajuus-

muuttaja syötetään vaihtosähköllä, joka sitten tasasuunnataan ja jälleen vaihtosuunnataan. Tämä tarkoittaa, että taajuusmuuttajassa on yksi tasasuuntaaja ja yksi vaihtosuuntaaja. Syöttämällä taajuusmuuttajaa tasasähköllä voitaisiin yksinkertaistaa taajuusmuuttajan rakennetta, poistaa tasasuuntaaja ja saada parempi hyötysuhde. [23.]

Kodinelektroniikka, tietokoneet ja muut hakkuriteholähteellä toimivat elektroniikkalaitteet syötetään nykyään vaihtosähköllä ja muunnetaan laitteessa tasasähköksi. Laitteissa syntyy häviöitä, joita voitaisiin minimoida syöttämällä laitteita suoraan tasasähköllä. Tehonlähteille on määritetty syöttö vaihtosähköllä, mutta EPRI Solutions tekemän selvityksen mukaan moni näistä toimisi yhtä hyvin tasasähkösyötöllä jopa ilman muutoksia. Markkinoilla on monen eri valmistajien virtalähteitä, eli ei voida taata, että muutos toimisi kaikkien valmistajien tuotteiden kanssa, mutta on kuitenkin suuntaa antava. Veneissä ja asuntoautoissa ollaan jo pitkään käyttäneet tasasähkölaitteita, joita löytyy jo tänä päivänä kaupoista. [17, s.16–33.]

Vaikka laitteet toimisivat suoraan tai pienen muutoksen jälkeen tasasähköllä, laitteiden käyttöä voisi kuitenkin laskea, sillä rasitus olisi hieman erilainen. Tämän päivän laitteet ovat suunniteltu ja testattu vaihtosähköllä. Selkeiden standardien luominen tasasähkölle lisäisi valmistusta ja käyttöä sekä yhteensopivuutta. Tuotteita, joissa tämä voisi toimia suoraan, ovat esimerkiksi tietokoneet ja viihde-elektroniikka. [17, s.16–33.]

Valaisimia on olemassa monenlaisia: LED-lamppuja, energiansäästölamppuja, halogeenilamppuja ja loisteputkilamppuja. Yhteistä näille kaikille on, että ne voisivat toimia myös kytkettynä suoraan tasasähköverkkoon. [17, s.16–33.]

LED-lamppujen suosio kasvaa koko ajan energiatehokkuuden ansiosta. LED toimii luonnostaan tasasähköllä ja näin ollen ei tuottaisi ongelmaa syöttää niitä tasasähköllä. [17, s.16–33.]

Nykyajan loisteputkivalaisimissa käytetään elektronista kuristinta, jonka takia ne soveltuisivat hyvin tasasähkökäyttöön. Vanhemmissa malleissa on magneettinen kuristin eikä siihen tasasähkö sovi. [17, s.16–33.]

Energiasäästövalaisin on periaatteeltaan samanlainen kuin nykypäivän loisteputkivalaisin, sillä sekin sisältää elektronisen kuristimen. Tämän takia tasasähkösyöttö ei tuottaisi ongelmia. Jo nyt löytyy energiasäästölamppuja 12 VDC-valaisimille. [17, s.16–33.]

Resistiiviset lämpövastukset toimivat tasasähköllä yhtä hyvin kuin vaihtosähköllä, sillä yleensä laitteet, joissa on resistiivinen vastus, kytketään suoraan verkkovirtaan ilman muuntajaa. Näitä laitteita ovat esimerkiksi kiukaat, lämmityspatterit, lämminvesivaraaja, vedenkeitin sekä uuni. [17, s.16–33.]

Tämän päivän jääkaapeissa ja pakastimissa käytetään taajuusmuuttajia, joiden avulla optimoidaan laitteen käyttöä. Koska siinä on taajuusmuuttaja, voidaan periaatteessa syöttää sitä tasasähköllä vain muuttamalla taajuusmuuttajan rakennetta. [17, s.16–33.]

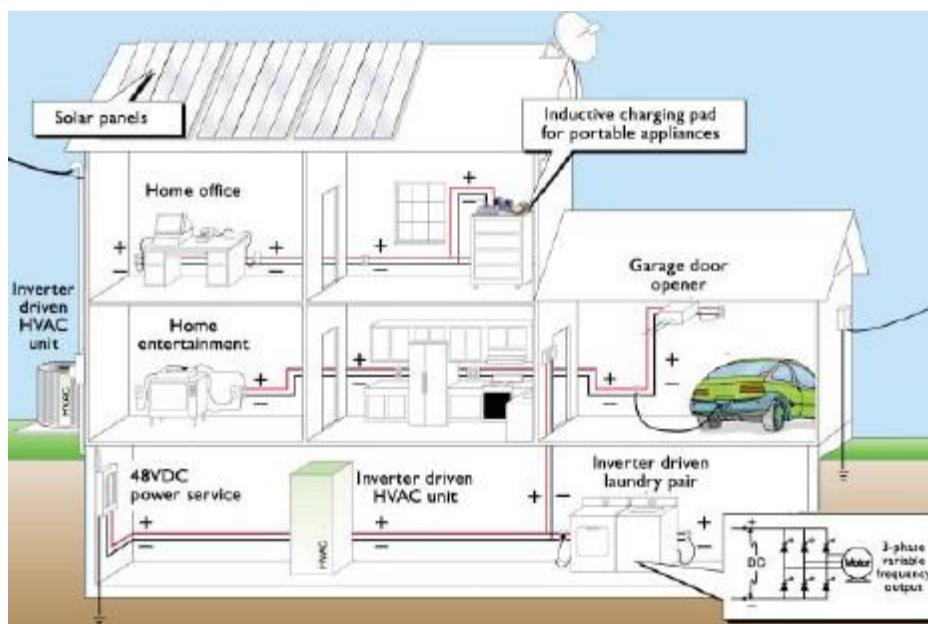
### Jännitetasot

Pientalojen kiinteistöverkkojen jännitetason suhteen ei ole olemassa standardia, mutta jos pienjännitejakelu olisi bipolaarinen  $\pm 750$  VDC, voitaisiin kiinteistöjä liittää unipolarisena verkkoon. Taloissa käytetään nykyään 400 VAC:n kolmivaihe ja 230 VAC:n yksivaihe, tulevaisuudessa olisi talokeskuksessa yksi tai muutama jännitetaso riippuen käytettävästä järjestelmästä. [8, s.41.]

Nykypäivän asennuskaapeleissa on 500 V:n leima, tarkoittaen että haluttaessa käyttää samoja kaapeleita muutoksen jälkeen, ei tulisi käyttää juurikaan korkeampaa jännitetasoa kuin aiemmin. Esimerkiksi lämpövastuksille voidaan käyttää 440 VDC. Muu verkko talossa voisi olla 12 V, 24 V tai 48 V laitteissa, jotka tarvitsevat korkeampaa tai jotain tiettyä jännitetasoa, olisi sisäänrakennettu DC/DC-muunnos, joka nostaa tai laskee jännitettä. Saadakseen hyötysuhdetta parannettua mahdollisimman paljon tulisi laitteille standardisoitua määritetyt jännitetasot, niin että laitteiden käyttöjännite olisi mahdollisimman sama. [8, s.41.]

Käyttämällä suojajännitealuetta 0 – 42 V asuinkiinteistöjen turvallisuus paranee, ja kuka vaan saisi asentaa oman järjestelmän. Tämä olisi houkutteleva vaihtoehto työkustannukset jatkuvasti noustessa. Laitteille joissa nykyään on 230 VAC:n käyttöjännite, tulisi käyttää korkeampaa kuin esimerkiksi 48 VDC, koska muuten virran pitäisi olla korkeampi, joka taas vaatisi paksumpia johtimia. [8, s.41.]

Kuvassa 11 näemme esimerkin, miten kiinteistön sähkönjakelujärjestelmä voisi olla toteutettu.



Kuva 11. DC-jakelun esimerkki kodissa [8, s.41].

## Energian tuotanto ja varastointi

Sähkön- sekä sähkönsiirron hinnan noustessa halutaan yleisesti päästä omavaraisuuteen, johon yksi keino on tuottaa oma energiaa. Moni yksityinen ja yritys ovat asentaneet aurinkokennoja katoille tai rakentaneet oman tuulivoimalan. Kansakuntana ollaan myös alkaneet kiinnittää enemmän huomiota ympäristökysymyksiin ja siihen miten voidaan auttaa hiilijalanjäljen vähentämisessä. Sijoittamalla energiaomavaraisuuteen nousee myös kiinteistön arvo.

Helpoin tapa tuottaa energiaa on aurinkosähköjärjestelmä eli aurinkopaneelit, sillä niiden asentaminen talon katolle on suhteellisen helppoa. Järjestelmä sisältää aurinkokennot, joiden avulla muutetaan auringon säteily tasasähköksi, vaihtosuuntaajan, jota tarvitaan kun talossa käytetään vaihtosähköjärjestelmää, ja lisäksi kaapeleita ja kiinnitystarvikkeita. Tulevaisuudessa käytettäessä tasasähköjärjestelmää voidaan jättää vaihtosuuntaaja pois ja päästä parempaan hyötysuhteeseen. Aurinkosähköjärjestelmä on huoltovapaa, sillä järjestelmässä ei ole liikkuvia osia ja järjestelmällä on pitkä käyttöikä. [17, s.28.]



Rakennettaessa aurinkosähköjärjestelmää oikea mitoittaminen on erittäin tärkeää, sillä rakentamalla liian pienien järjestelmä toivottuja säästöjä ei saavuteta, ja vastaavasti rakennettaessa liian iso järjestelmä voivat kustannukset nousta liian suuriksi eikä järjestelmän takaisinmaksu onnistu. Ylijäämäsihtin voi myydä sähköverkkoyhtiölle, mutta ne maksavat energiasta varsin vähän, eli se ei ole kannattavaa. Tämän takia ylimitoittaminen ei ole järkevä vaihtoehto, ainakaan ennen kuin sihtin varastointijärjestelmät yksityisille kehittyvät. [17, s.28.]

Saadakseen eniten hyötyä uusiutuvalle energiantuotannolla täytyy investoida energianvarastointijärjestelmään. Markkinoilla on nykyään kiinteistöihin suunnattuja energianvarastointijärjestelmiä, esimerkiksi Teslan Powerwall. Powerwall on kotikäyttöön akku, jossa on 13,5 kWh:n kapasiteetti ja 7 kW:n huipputeho. Akkuja voi liittää jopa 10 kappaletta yhteen, jolloin kapasiteetti nousee ja omavaraisuus, esimerkiksi sähkökatkoksen aikana on hyvä. [22.]

Sähköautojen yleistyessä on alettu tutkimaan autonakun käyttämistä energiavarastona kotitaloukselle. Älykkäällä teknologialla voidaan ohjata auton energiankäyttöä niin, että se latautuu kun sihtin hinta on alhainen, ja voisi syöttää talon sähköverkkoa jakeluvkon sihtin ollessa hintava. Tämä tietysti vaatisi sen, että auto olisi latauspisteessä kiinni, ja kuitenkin pysyä toimintavalmiina kun autoa tarvitaan.

### Hyötysuhteet

Laitteiden hyötysuhdetta voidaan parantaa vähentämällä muunnoksien määrä, tarkoittaen että poistetaan AC/DC-muunnokset. Testauksien perusteella voisi kodin kokonaishyötysuhdetta nostaa noin 2,5 prosentilla, jos käyttää tasasähköjakelua, mihin on liitetty omaa tuotantoa. Tämä voi kuulostaa vähäiseltä, mutta kun se kerrataan monen kiinteistön ja laitteen kanssa, muutos on merkittävä. [17, s.34.]

### Muita käyttökohteita

Asuintalojen ja toimistotilojen lisäksi löytyy muitakin käyttökohteita, esimerkiksi julkiset valaistukset.

Julkisella valaistuksella tarkoitetaan esimerkiksi tievalaistusta, joka muodostaa ison osan tämän päivän julkisesta sähkökulutuksesta. LED-tievalaistus tulee lisääntymään

tulevaisuudessa suurella määrällä, ja kuten aiemmin kirjoitin tässä työssä, sopivat ledit yhteen tasasähkön kanssa erittäin hyvin. Suuri osa tämän päivän tievalaistuksesta on kaasupurkaus- ja suurpainelamppuja. Nämä vaativat kytkentälaitteen, joka koostuu kuristimesta sekä kompensointikondensaattorista. Nykyään on myös tehoelektroniikkaan perustuva kytkentälaitte, jonka myötä voidaan vaihtaa vain kytkentälaitetta ja sen jälkeen liittää valaistus tasasähköverkkoon. Käyttämällä tasasähköä voidaan tehdä pidempiä asennuksia, mikä taas vähentäisi jakelumuuntajien määrää tievalaistuksessa.

#### Kokeilukohteita

Koko Suomen tasasähköjärjestelmään siirtyminen olisi suhteettoman suuri muutos lyhyellä aikavälillä ja suorastaan mahdotonta tehdä kerrallaan. Mistä sitten pitäisi aloittaa ja miten? Mietitäänpä vaikka asuntomessuja tai mökkimessuja, joita järjestetään vuosittain Suomessa. Messut olisivat erinomainen kokeilukohde tasasähköjärjestelmälle, sillä näissä kohteissa rakennetaan aina uutta alusta alkaen. Rakennettaisiin jakelumuuntajasta tasasähköjakelujärjestelmä uusiin taloihin tai mökkeihin ja lisättäisiin alueelle hajautettua tuotantoa sekä energiavarastoja.

Talot, jotka rakennetaan alueelle, ovat niin sanottuja nolla-energiataloja, mikä tarkoittaa että talojen kulutus pitäisi olla varsin pieni. Tämänkaltaisen energiatehokkuus onkin optimaalista hajautetulle energian tuotannolle sekä varastoinnille. Talojen katoille asennettaisiin tietysti aurinkokennoja oman tuotannon takaamiseksi, mikä vähentää alueen ympäristövaikutuksia entisestään.

Taloihin tulisi tasasähköverkko, sillä taloissa on käytössä tasasähkölaitteita. Tasasähkölaitteita on olemassa markkinoilla jo nyt runsaasti, ja näitä laitteita on jo pitkään käytetty esimerkiksi mökeissä, veneissä sekä asuntoautoissa.

Tämä olisi erinomainen tapa kokeilla järjestelmän toimivuutta ensin pienemmässä skaalassa, ja kun tuloksia on saatu vuoden tai kahden verran, lähdetään laajentamaan konseptia.

## 7 Yhteenveto

Insinööriyön kirjoittaminen oli erittäin mielenkiintoista ja aihe ajankohtainen. Koin haasteelliseksi, miten määrittää rajaukset työlleni, sillä aihealue on erittäin laaja, kuten tasasähkön käyttömahdollisuudet sekä komponenttien ja hajautetun energiatuotannon liittäminen siihen. Lisäksi aihe on melko uusi, eikä laajasti käytössä vielä, standardeja ja määräyksiä ei ole kattavasti, mikä myös on osasy sille, miksi laitevalmistajat eivät ole kehitelleet valmiiksi suuria määriä tasasähköön liitettävissä olevia laitteita. Haasteellista oli myös löytää joitakin tietoja aiheeseen, erityisesti laskelmia kustannuksista ja siitä miten paljon voidaan hyötyä järjestelmien vaihdoista. Tämän takia työssäni ei ole kustannuslaskelmia, jotka osoittaisivat numeroiden valossa, miten kannattava tasasähköjärjestelmä olisi.

Koska tutkimuksia aiheesta löytyy ja niissä esitetyt tulokset ovat positiivisia, ja tehoelektroniikan ja muiden tarvittavien komponenttien kehitys on edistynyt paljon, kysymys ei ole enää, tullaanko siirtymään tasasähköjärjestelmään, vaan milloin tullaan siirtymään ja kuinka laajasti. Vaihtosähköjärjestelmässä joudutaan tekemään rakenteellisia uudistuksia yhä enemmän, mikä johtuu sekä ulkoisista että sisäisistä tekijöistä. Sähkön kulutus kasvaa vuosi vuodelta, jonka vuoksi kapasiteettia tulee lisätä, ja vaihtosähkössä tämä tarkoittaisi paksumpia johdinpinta-aloja sekä tehokkaampia muuntajia. Tasasähköverkolla voidaan siirtää suurempaa kapasiteettia pidempiä matkoja pienemmillä häviöillä, korottaa sähkön laatua sekä verkon toimintavarmuutta. Hajautettu sähköntuotanto lisääntyy vuosi vuodelta, ja osa tästä tuotannosta olisi parempi liittää tasasähköverkkoon häviöiden minimoimiseksi. Vihreät arvot nousevat koko ajan tärkeämmäksi, uusiutuva sähköntuotanto lisääntyy sekä verkoissa että yksityisillä tahoilla.

Tehoelektroniikka on edistynyt ja yleistynyt runsaasti viime vuosina, minkä ansiosta hinnat ovat laskeneet. Osataan tehdä hyviä kestäviä komponentteja, pienemillä häviöillä, ja tämä kehitys tulee jatkumaan vielä pitkään.

Suuri osa kiinteistön sähköstä kuluu elektronisissa kuormissa ja erilaisissa vastuksissa. Elektroniikka toimii tasasähköllä ja on suoraan yhteensopiva tasasähkösyötön kanssa, myös vastuksia voi liittää tasasähköön vaivattomasti. Uudisrakennuksissa asennetaan yhä enemmän aurinkokennoja, ja energian varastointitekniikka kehittyy.

Tutkimuksen osalta pääsin mielestäni tavoitteeseen. Tasasähkön käyttöön siirtymisessä on selvästi potentiaalia ja järkeä, kyse on enää, milloin siirrytään ja kuinka laajasti.

## Lähteet

- 1 Tesla vs Edison: the war of currents. 2011. Verkkodokumentti. ABB.  
<<http://www.abb.com/cawp/seitp202/c646c16ae1512f8ec1257934004fa545.aspx>>. Luettu 30.8.2017.
- 2 AC vs. DC. 2017. Verkkodokumentti. Energy and technology history wiki.  
<[http://ethw.org/AC\\_vs.\\_DC](http://ethw.org/AC_vs._DC)>. Luettu 30.8.2017.
- 3 Suomen sähkövoimajärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti. Fingrid.  
<<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCtasasahkovoimansiirto.aspx>>. Luettu 30.8.2017.
- 4 Lakervi, Erkki ja Partanen, Jarmo. 2012. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Ota-tieto.
- 5 Sähköverkkojen rakenne. 2016. Verkkodokumentti. Energia teollisuus.  
<[https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiaverkot/sahkoaverkot](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoaverkot)>. Luettu 30.8.2017.
- 6 Sähköasema pintaa syvemmälle. 2016. Verkkodokumentti. Vantaan energia Oy.  
<<https://www.vantaanenergiasahkoaverkot.fi/magazine/energiavirtaa-lehti-12016/sahkoasema-pintaa-syvemmalta/>>. Luettu 30.8.2017.
- 7 Sähköasema ja sen tärkeimmät laitteet. 2004. Verkkodokumentti. Fingrid.  
<<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCsahkoasema.aspx>>. Luettu 30.8.2017.
- 8 Tasajännite taajaman sähkönjakelussa ja mikroverkoissa. 2007. Verkkodokumentti. VTT. <[www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2004/W6.pdf)>. Luettu 1.9.2017.
- 9 The next big thing for Data centers: DC power. 2012. Verkkodokumentti. GIGAOM. <<https://gigaom.com/2012/01/13/the-next-big-thing-for-data-centers-dc-power/>>. Luettu 14.9.2017.
- 10 Tehoelektroniikka sähkönjakelussa – Pienjännitteinen tasasähkönjakelu. 2010. Verkkodokumentti. LUT. <<https://www.lut.fi/.../Tehoelektroniikka.../639848d0-86c0-47ff-a9fc-057f745ff360>>. Luettu 5.9.2017.
- 11 Possibilities of the low voltage DC distribution systems. Verkko dokumentti. LUT. (s.3) <[www.upn.se/html-files/Glava/Referenser/Ref%206%20Possibilities%20of%20low%20voltage%20DC%20distribution.pdf](http://www.upn.se/html-files/Glava/Referenser/Ref%206%20Possibilities%20of%20low%20voltage%20DC%20distribution.pdf)>. Luettu 18.9.2017.
- 12 Power electronic converters in lowvoltage direct current distribution - analysis and implementation. 2015. Verkkodokumentti. LUT. <[www.doria.fi/handle/10024/117972](http://www.doria.fi/handle/10024/117972)> POWER ELECTRONIC CONVERTERS IN LOWVOLTAGE

DIRECT CURRENT DISTRIBUTION – ANALYSIS AND IMPLEMENTATION>. Luettu 8.9.2017.

- 13 DC Distribution Smart Grids. 2016. Verkkodokumentti. TU Delf. <<https://www.tudelft.nl/powerweb/research-projects/dc-projects/dc-distribution-smart-grids/>>. Luettu 1.9.2017.
- 14 What is a smart grid. 2017. Verkkodokumentti. ABB <<http://new.abb.com/smart-grids/what-is-a-smart-grid>>. Luettu 1.9.2017.
- 15 Älykkäät sähköverkot ja energiamarkkinat - SGEM-ohjelman loppuraportti. 2014. Verkkodokumentti. <[https://issuu.com/cleenltd/docs/cleen\\_sgem\\_loppuraportti\\_digipublis](https://issuu.com/cleenltd/docs/cleen_sgem_loppuraportti_digipublis)>. Luettu 18.9.2017.
- 16 Aurinkopaneelit. Verkkodokumentti. Suntekno. <[suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf](http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf)>. Luettu 8.9.2017.
- 17 Tasasähköjakelu ja kiinteistöjen tasasähköverkot. 2008. Verkkodokumentti. LUT. <<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/37380/nbnfi-fe200803271180.pdf?sequence=3>>. Luettu 1.9.2017.
- 18 Hajautettu energiatuotanto Suomessa. 2015. Verkkodokumentti. Suomen ympäristökeskus SYKE. <[www.syke.fi/download/noname/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845](http://www.syke.fi/download/noname/%7BDD119785-B537-45DE-AEF0-8360DCAB1BDF%7D/111845)>. Luettu 8.9.2017.
- 19 Vesienenergia. 2015. Verkkodokumentti. Lähienergia.<<http://www.lahienergia.org/lahienergia/vesienenergia/>>. Luettu 5.9.2017.
- 20 Guerrero-Lemus, R. & Martínez-Duart, J.M. 2013. Electricity Storage. Teoksessa: Renewable Energies and CO<sub>2</sub>. Cost Analysis, Environmental Impacts and Technological Trends- 2012 Edition. London: Springer. Lecture Notes in Energy 3. ISBN 978-1-4471-4385-7 (eBook).
- 21 Kolmitasoiset suuntaajat tasasähköjakoelussa. 2009. Verkkodokumentti. TTY. <[https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Rekola\\_Jenni\\_julk.pdf](https://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/pdf%20julkiset%20dtyot/Rekola_Jenni_julk.pdf)>. Luettu 8.9.2017.
- 22 Powerwall. 2017. Verkkodokumentti. Tesla. <[https://www.tesla.com/fi\\_FI/power-wall?redirect=no](https://www.tesla.com/fi_FI/power-wall?redirect=no)>. Luettu 13.9.2017.
- 23 Energiavuosi 2016 sähkö: Sähkönkäyttö kääntyi nousuun. 2017. Verkkodokumentti. Energiatietoisuus. <[https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2016\\_sahko\\_sahkonkaytto\\_kaantyi\\_nousuun.html](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2016_sahko_sahkonkaytto_kaantyi_nousuun.html)>. Luettu 8.9.2017.